

소형궤도열차시스템 기술 개발

이 글에서는 미래형 첨단 도시교통시스템으로 부각되고 있는 소형궤도열차시스템 기술에 대하여 소개하고자 한다.

☞ 조 총 식 | 한국철도기술연구원 경량전철연구팀, 선임연구원
 ☞ 정 락 교 | 한국철도기술연구원 경량전철연구팀, 선임연구원

e-mail : hscho@krti.re.kr

e-mail : rgjeong@krti.re.kr

현대 정보화시대는 경제·사회 및 산업전반에서 물질·인적 수송의 고속화가 요구되며, 더불어 교통 시스템에도 더 안전한 서비스와 이용자의 접근 편리성이 요구된다. 도시화의 발전 속도가 가속화됨에 따라 교통체증의 전일화현상은 경제 활동에 치명적인 영향을 미치고 있으며, 국내 도시의 경우에도 현재의 도시철도 시설 공급 추세로는 급증하는 수요를 감당하기 어려운 상황에 달하였다. 우리나라에서 수송정체를 일으키는 주요 원인은 자동차의 급격한 증가이다. 차량은 하루가 다르게 기하급수적으로 늘어나 '97년에 이미 1,000만 대를 돌파하여 2000년대에는 가구당 1대를 넘는 1,400만 대 수준으로 이제 도심 지역은 어디를 가나 밀려드는 차량으로 교통이 항상 정체되어 이에 따른 경제적 손실이 연간 8조 6,000억 원으로 추정되고 있어 교통문제의 해결이 시급한 과제로 대두되고 있다. 그럼에도 불구하고 우리나라 대도시의 도로 증가율은 자동차 증가율의 1.5%에 불과하며 자동차의 운행을 위하여 필요한 도로, 주차장, 고층 주차건물 등의 시설은 도시 중심부의 토지를 50% 이상을 점유하고 있다. 이에 따른 도로교통정체 현실과 매연으로 인한 환경오염은 삶의 질을 추구하는 현대인의 생활에 중대한 위협이 되고 있다. 따라서 대중교통수단의 확충과 다양한 승객 요구에 따라 그 선택의 폭을 넓혀야 개인 교통수단의 대체 수단으로서 그 역할을 할 수 있으나, 현실적으로 대중교통수단의 선택의 폭은 극히 제한적이며, 그 결과 대중교통수단은 주로 자가용 등의 선택의 여지가 없는 계층에 의하여 이용되고 있고, 자가용 이용계층의

대중교통수단으로 전환은 실효를 기대하기 어려운 상황이다. 다양한 대중교통 수단의 제공과 교통서비스 향상만이 이용자 선택의 폭을 넓게 하여 자동차 이용의 감소를 가능하게 할 것이므로 이에 부응한 정책의 계획·입안이 계속적으로 이루어져야 한다.

도심지에서의 자가용 이용을 대체하기 위해서는 네트워크 구조의 노선 형태로 이용자들의 접근성을 강화하면서 출발지에서 목적지까지 논스톱 운행으로 소비자의 요구에 부응할 수 있는 철도 시스템의 개발이 절실히 필요한데 이는 이미 개발되어 운영되고 있는 현재의 도시철도 시스템으로서 해결하기 어려운 부분이다. 이러한 맥락에서 초기 건설비 및 운영 유지비 과다 등 기존 지하철의 문제점을 해결하면서 다양한 서비스 기능으로 자동차 이용을 대체할 수 있는 미래형 신교통수단으로서 소형궤도열차시스템의 기술 개발이 절실히 요구되고 있다. 전 세계적으로 소형, 경량화, 환경 친화적 미래형 교통 시스템이 기술개발의 추세에 있으며 미국, 유럽의 선진 각 국에서는 소형궤도열차의 필요성을 인식하고 개발에 적극 투자하여 그 도입을 서두르고 있다.

소형궤도열차시스템의 특성

소형궤도열차시스템은 노선거리 1~10km 정도, 수송능력은 시간·방향당 3,000~10,000명 정도로 지하철과 버스의 중간 규모의 신도시철도 시스템 분야 중 하나이다. 소형궤도열차시스템은 지하철이나 경량전철보다 규모가 작고 공사비가 상대적으로

저렴하며 독자적인 궤도시스템을 가지고 자동으로 운행되는 교통시스템으로서 운영비가 저렴하여 건설 및 운영상의 비용을 절감할 수 있으며 서비스 수준을 극대화함으로써 기존의 도시철도시스템에 비하여 훨씬 승객의 편의에 부응하는 교통시스템이다. 또한 매연과 소음, 진동이 없는 미래지향적이고 환경 친화적인 교통수단이며 기존 교통수단에 비하여 도시 미관에 조화로운 수려한 외형을 갖고 있다.

전 세계적으로 현재까지 수많은 소형궤도열차시스템의 개념이 나오고 여러 가지 시스템들이 연구 개발되고 있는데, 그 중에서 대표적인 시스템으로 PRT(Personal Rapid Transit), GRT(Group Rapid Transit), dual-mode 시스템을 거론할 수 있다.

PRT 시스템

PRT(Personal Rapid Transit) 시스템은 1960년대 후반부터 연구 개발되고 있는 유연하고 신속하며 신뢰성 있는 혁신적인 교통시스템이다. 일

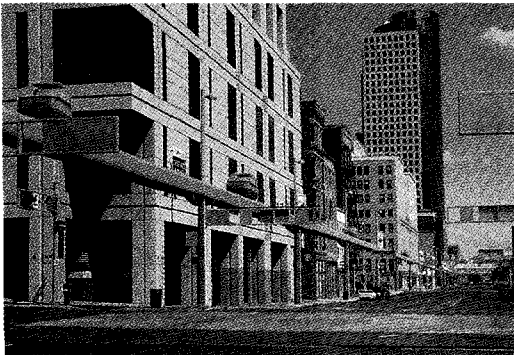


그림 1 도심지에서의 PRT 시스템 개념도

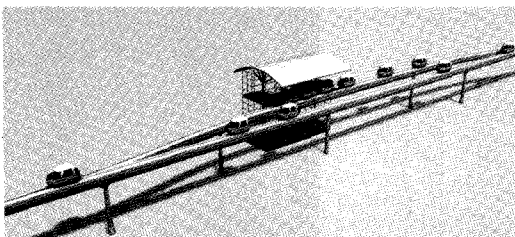


그림 2 PRT 시스템의 off-line 역 구조

반적인 APM(Automated People Mover) 시스템은 12명에서 100명 정도의 승객을 차량정원으로 하여 고정된 스케줄로 line-haul 형태의 정해진 궤도를 운행하는 시스템으로 공항의 승객운송용 궤도차량으로 성공적으로 이용되고 있지만, 여러 가지 이유로 도심에서의 교통수단으로는 이용되지 못하고 있는 실정이다. PRT 시스템은 건설비용과 건설기간이 짧고, 공사 및 운영 중에 주변 환경에 끼치는 영향이 적으며 무엇보다 교통체증을 완화시킬 수 있는 큰 장점을 가지고 있어서 자동차의 서비스 성능에 필적하는 유일한 대중교통시스템으로 간주되고 있다.

1988년 미국 ATA(Advanced Transit Association)에서는 PRT 시스템이 갖추어야 할 조건들을 다음과 같이 표준화함으로써 PRT 시스템을 정의하였다.

- 운전자 없이 전자동으로 운행될 수 있는 차량
- 제한된 가이드 웨이 내에서만 운행되는 차량
- 1~6명 정원의 소규모 차량으로 24시간 이용 가능하며 승객의 선택에 따라 혼자 또는 그룹으로 이용할 수 있음.
- 가이드 웨이는 다른 시스템에 비하여 크기가 작으며 고가, 지상, 또는 지하에 설치될 수 있음.
- 차량은 PRT 노선 네트워크에 연결되어 있는 모든 가이드 웨이와 정류장을 이용할 수 있어야 함.
- 출발지에서 도착지까지 갈아타거나 정차할 필요 없이 논스톱으로 운행
- 차량 운행은 고정된 스케줄에 따르는 것이 아니라 승객 요구에 따라 서비스됨.

PRT 시스템은 교통 체증이 없으며 출발지에서 목적지까지 한 번도 정차하지 않고 논스톱으로 운행되기 때문에 차량의 평균속력이 시속 45~60km에 달한다. 참고로, 세계 각국의 경량전철이나 모노레일의 경우 최대 속력은 시속 60~80km이지만 역에서의 정차시간을 고려한 평균 속력은 시속 24km에 그친다. 이러한 무정차 운행은 PRT 시스템의 역을 주선로에서 벗어난 우회로에 설치함으로써 가능하다(off-line station). 일반 주행차량은 본선 가이드 웨이를 따라 계속 주행하며 하차할 승객이 탄

차량만이 정류장으로 갈라져 진입하게 되므로 출발지에서 목적지까지 논스톱으로 갈 수 있는 것이 PRT 시스템의 특징이며 장점이다. 배차 시간이 고정된 기존의 교통수단들과는 달리 PRT 시스템은 승객의 요구에 따라 차량이 배차된다. 또한 PRT 시스템은 환승이 필요 없는 대중교통수단이다. 지하철의 경우 한 번씩 갈아탈 때마다 연계되는 회선의 열차를 기다려야 하기 때문에 매우 번거롭고 이동시간도 그만큼 늘어난다. 그러나 차량 스스로 원하는 방향의 노선을 선택할 수 있는 PRT 시스템만의 기능이 갈아타는 불편을 해소할 수 있으며 이용자들의 선호도를 크게 높일 수 있다.

차량 및 구조물이 소형, 경량이므로 건설비가 여타의 교통수단에 비해 매우 저렴하기 때문에 지하철과 비교할 때 동일한 비용으로 평균 역간 거리를 매우 가깝게 설치할 수 있다. 경량전철은 역마다 정차 및 출발을 위한 가감속 관계로 역간거리 800m 이상이 필요하나, PRT 시스템은 200m 정도의 역간거리로 필요한 장소에 설치가 가능하다. 또한 네트워크 형식의 노선이 설치 가능하기 때문에 역까지의 도달 거리를 줄일 수 있어 이용승객의 편의에 훨씬 부합된다. PRT 시스템은 차량 크기의 소형화로 가이드 웨이 및 정류장의 소형화를 구현할 수 있기 때문에 건설비용을 절감시키고 주변 경관에 미치는 시각적해도 최소화할 수 있다. 이에 따라 모노레일이나 경량전철과 달리 지하철이 통과하는 도로 위에도 가이드 웨이의 설치가 가능하고 건물 내부에도 정류장 설치가 가능하다.

대중교통수단의 효율성을 논의할 때 가장 큰 관심사는 수송능력이다. 현대의 기술력은 이미 여러 대의 무인 자동차를 0.5초 이하의 시격을 유지하면서 안정적으로 운행하는 기술을 확보하였다. 시격 0.5초로 운행되는 PRT는 한 개의 선로가 4차선 자동차 도로의 수송능력과 맞먹는 수송능력을 갖게 된다. 실제로 PRT 가이드 웨이는 시간당 5,000대까지 차량을 수송할 수 있으며 수송요구량의 변화에 능동적으로 대응할 수 있다. 수송요구량이 적을 때에는 각 역과 차량유치고 등에 빈차를 대기시킴으로써 경제적으로 시스템을 운영할 수 있다. 각 역은 여러 개의

승강구를 설치함으로써 역의 차량 소화능력을 증대시킬 수 있다. 각 역은 역 수요에 따라 1~15개의 승강구로 이루어지며 차량의 소화 능력은 시간당 200~1,700대의 범위를 가진다. PRT는 궤도가 일반적으로 지하 또는 지상이 아닌 고가 구조로 설치되는데, 네트워크망 형식의 노선 형태이기 때문에 노선의 확장이 용이하다. 고가 구조라 하더라도 경량 구조물이기 때문에 시공 방법에 있어서도 이점이 있다. 고가의 모듈은 공장에서 미리 가공하고 현장에서 단순한 조립만 이루어지도록 시공함으로써 고가 설치에 따른 민원 발생이 최소화될 수 있다. 또한 설치비용이 저렴하기 때문에 동일한 비용으로 설치할 수 있는 지하철의 노선과 비교할 때 더욱 광범위한 노선망의 확충이 가능하다. PRT 시스템은 같은 차량에 모르는 사람과 함께 승차하지 않으므로 개인의 프라이버시가 보장되고 범죄도 예방된다. 물론 일행이 있다면 함께 탑승할 수 있으며 노약자나 장애인도 편하고 안전하게 이용할 수 있도록 설계된다.

PRT 시스템은 1960년대 후반 미국에서 미래의 교통수단으로 검토되기 시작하여 1970년대의 활발한 연구를 통하여 미국 LA를 포함한 몇 개의 도시들을 대상으로 PRT 네트워크가 설계되었으며 여러 가지 차량 디자인 개념이 나왔다. 미국 이외에도 영국, 일본, 프랑스, 독일 등에서 PRT 시스템의 개발이 활발하게 수행되어 독일의 Cabintaxi, 영국의 Cabtrack, 일본의 CVS, 프랑스의 Aramis 등의 시스템이 1970년대 후반까지 개발되고 시험선이 건설되어 시험되었으나 예산 부족, 기술상의 한계 등으로 상용화에 이르지 못하는 못하고 연구가 중단되었다. 최근 몇 년 동안 현재의 심각한 도심교통체증 문제를 해결하기 위한 방안으로서 PRT 시스템의 적용 가능성을 검토하는 움직임이 다시 일어나 점차 성장하고 있다. 1980년대 미네소타 대학에서 John Edward Anderson 교수를 중심으로 하여 3인 정원의 선형유도모터로 구동되는 Taxi 2000이라는 PRT 시스템 개발을 시작하여, 1990년대 시스템 개념을 발전시켜 관련 정부기관 및 단체에 독자적인 PRT 계획안을 제공하였다. 미국의 PRT 도입은 현재 Taxi 2000 시스템을 중심으로 여러 지역에

서 진지하게 검토 중에 있다.

영국에서는 Bristol 대학의 Martin M. Lowson 교수를 중심으로 한 Advanced Transport Systems에서 4인 정원의 차량 내 배터리에 의한 회전모터로 구동되며 네비게이션에 의해 전자유도조정되는 ULTra(Urban Light Transport)라는 PRT 시스템이 개발되어 PRT 시스템으로서는 세계 최초의 상용화 예정을 눈앞에 두고 있다. 미래 대비 운송수단으로 ULTra 시제 차량의 설계, 제작 및 시험에 100억 원(500만 파운드)의 정부 연구 보조금이 지원되었으며 웨일즈 지방의 주도인 Cardiff 시에서도 최초의 상용화를 위한 지역 선정 및 건설계획을 위한 연구에 재정지원을 하고 있다. ULTra 시스템은 현재 시제차량을 완성하고 Cardiff 시의 1km 시험선에서 차량 시험 중에 있으며 1,000회 이상의 시험운행을 거쳤다. 2005년에 Cardiff 시에 PRT 시스템으로서는 최초로 상용화될 예정이다.

그 외 스웨덴, 노르웨이, 캐나다, 스위스 등 선진 각 국에서 PRT 시스템의 개발을 진행하려는 노력이 점점 구체화되고 있으며 제어방식, 시스템 구성, 기본 요소 기술에서 다양한 양식의 PRT 개념들의 연구가 진행되고 있으며 각 국 정부에서도 미래교통수단으로서 PRT 시스템의 개발 가능성 및 적용 타당성을 심도 있게 연구하고 있다.

GRT 시스템

GRT(Group Rapid Transit) 시스템은 분기되는 노선을 가지고 출발지와 목적지가 유사한 사람들이 이용하는 AGT 시스템으로 시스템 운영 방식이나 승객 수에 있어서 기존의 경량전철과 PRT 시스템의 중간 형태의 교통시스템으로 이러한 범위 내에서 다양한 크기를 갖는다. GRT는 PRT 시스템의 운영 특성을 일부 포함하고 있는 교통시스템으로 운영 방식과 차량정원에 따라 PRT와 구분된다. PRT는 1~6명이 차량정원인데 반해 GRT는 10~30명의 차량정원을 갖으며 2개 차량 이상이 연결되어 운행될 수도 있다.

GRT 시스템은 PRT 시스템과 마찬가지로 Off-Line 역 구조로 정류장이 주선로와 떨어져 있어 그 역에 정차할 필요가 있는 차량만 다른 차량들의 흐름에 방해를 주지 않고 그 역에 정차할 수 있다. PRT 시스템이 한 차량에 탑승한 1~6명의 승객들의 출발 지부터 목적지까지 Non-Stop으로 운행되는데 비하여 GRT 시스템은 정해진 노선을 운행하다가 차량에 탑승한 승객이 하차하는 정거장에만 주 노선에서 벗어나서 정차하게 된다. 따라서 기존의 경량전철에 비해서는 운행시간이 단축되지만 PRT 시스템에 비해서는 운행노선에 제약을 갖게 된다. 노선 분기를 통해 버스와 같이 다양한 노선의 운행이 가능하며 버스와는 달리 교통 혼잡에서 자유로울 수 있다. GRT 시스템을 사용하는 승객은 자신의 목적지로 향하는

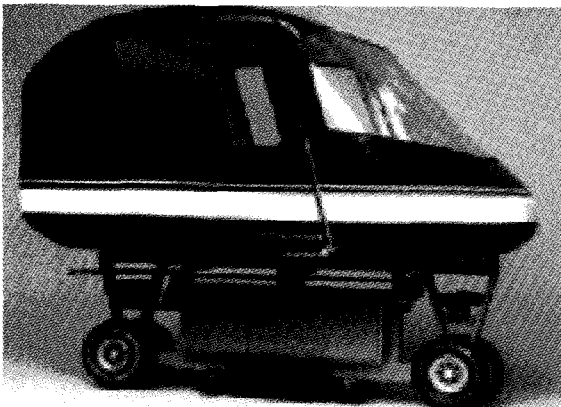


그림 3 Taxi 2000 시스템



그림 4 ULTra 시스템

테마기획 ■ 미래형 도시교통시스템

차량을 이용하도록 주의를 해야 한다. 또한 대도시 이동과 같은 상대적으로 거리가 먼 구간을 이용하는 GRT 승객은 1회 또는 2회의 환승이 필요할 수도 있다. 다시 말해, PRT 시스템에 비하여 어느 정도의 대기시간이 수반되게 된다. GRT 시스템의 운행 시격은 3초에서 60초 사이에서 결정된다. 수송용량은 차량의 정원 및 차량 시격과 직결되는 함수이므로 평균 시격과 평균 차량정원을 각각 30초, 20명으로 간주할 경우 시간당 단방향 수송용량은 2,400명이 되며, 이는 고속도로 1개 차선의 수송용량과 같다. 수송용량은 차량을 연결 편성해서 운행하거나 시격을 단축해서 운행함으로써 증가시킬 수 있으나, 시격을 단축하게 되면 시스템의 복잡성은 상당히 증가하게 된다. GRT 시스템은 상업중심지구와 같은 활동중심지역에 대해 폭넓은 서비스를 제공할 수 있다. 첨두시간에는 다양한 스케줄로 행선지가 같은 여러 사람이 동승을 해서 탑승하고 비첨두시에는 on-demand로 승객이 필요할 때만 차량을 투입하여 운행되게 된다.

1971년에 West Virginia의 Morgantown에 West Virginia 대학의 학생 통학 및 지역사회 교통수단으로의 소형궤도열차 시스템이 개발되어 건설되어 1975년도부터 상용화되었다. PRT 시스템이라고 선전되었지만 승차인원이 21명으로 차량의 개별 이용이 아니기 때문에 완전한 PRT 시스템의 구현은 이루지 못 했지만 PRT 시스템의 개념을 부분적으로 도입하여 상용화한 최초의 GRT 시스템이라고 할 수 있다. 1990년대 말부터 호주 Bishop

Austrans 사에서는 철도 기술을 도입한 9인승 규모의 GRT 시스템인 Austrans 시스템을 개발했다. Austrans 시스템은 1999년 8월 개념설계를 완성하고 2000년 12월 차체 개발을 완료하였다. 2001년 3월 시드니 외곽 Chullora에 시험선로가 건설되어 시험 중이다. 우루과이의 수도인 몬테비디오(Montevideo)와 싱가포르 등에서는 Austrans 시스템의 실용화노선에 대한 적용 타당성을 검토 중에 있다. 미국의 아이다호 국립공학환경연구소에서는 CyberTran이라는 20인승 규모의 GRT 시스템을 개발하여 현재 5회의 차량 성능 시험을 통하여 차량의 기본 운전능력이 검증되었다.

Dual-mode 시스템

Dual-mode 시스템은 주어진 궤도에서는 자동으로 PRT 시스템으로 운행되며 일반 도로나 거리에서는 수동운행이 가능한 시스템이다. Dual-mode의 차량이 도로운행이 가능하므로 정류장 간격이 커도 별로 문제가 되지 않는다. 차량은 보통 배터리에 의해 구동되며, 배터리는 주차 중에 충전되거나 가이드 웨이에서 급전되어 충전된다. 차량을 개인 소유로 할 경우 소유자의 개인 차고에 보관되어서 주차에는 이용효율이 떨어지고 일반 자가용과 마찬가지로 주차공간을 차지하는 단점이 있지만 사회적인 투자가 불필요하다. 차량을 공공소유로 하여 가장 가까운 역에서 차량을 찾아 이용하는 방식도 또한 가능하다. 가이드 웨이에 대한 안전성을 확보하기 위해서는 모든 차량이 공통된 사양을 충족하고 검증되어야 한다.

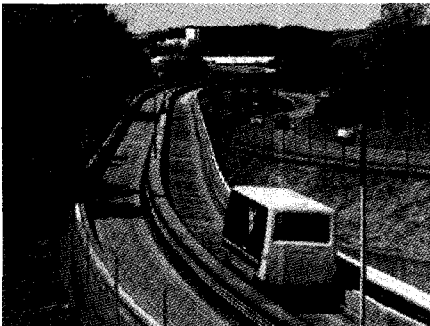


그림 5 Morgantown GRT 시스템

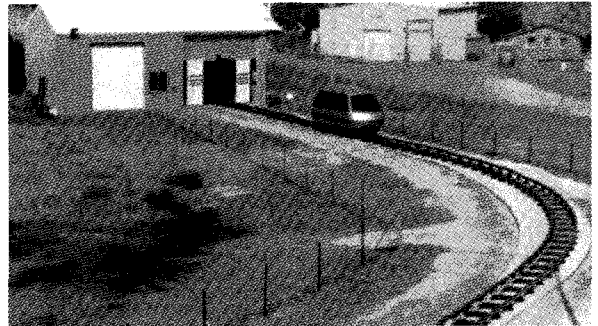


그림 6 Austrans 시스템

차량이 기존 도로에서도 운전되면서 지정 가이드 웨이 내에서는 자동 제어에 의해 고속으로 운전되는 Dual-mode 교통 시스템은 최근 수년 동안 많은 새로운 Dual-mode 개념들이 등장하기 시작했고 가까운 시일 내에 상용화될 전망이다. 그 중 개발 진행 상황이 가장 빠른 시스템으로는 덴마크의 RUF 시스템과 미국의 메가레일(Megarail) 시스템이라고 할 수 있다. RUF(Rapid Urban Flexible) 시스템은 현재 덴마크에서 개발 중인 시스템으로, 소형 및 중형의 전기차량을 이용하여 자동화된 레일 시스템에서만 아니라 기존의 도로 시스템에서도 운전된다. 이 시스템의 기본 개념은 Palle R. Jensen에 의해 고안되어 시제 차량과 시험선이 덴마크 기술연구소에 건설되었으며 RUF International이라는 컨소시엄이 구성되어 덴마크 동력환경부로부터 지원을 받아 이 프로젝트를 수행하고 있다.

국내 기술 개발 현황

국내 PRT 시스템 개발을 위한 시도로는 1990년대 초반 우보 엔지니어링 사[현 : (주)PRT Korea]에서 PRT 시스템의 타당성 조사 및 Venture Business 사업화를 추진하였다. 1999년 6월 국회 가상정보가치연구회 주관으로 PRT 개발타당성 정책토론회가 열렸으며 (주)PRT Korea에서는 미국의 PRT 2000 시스템의 기술도입 및 국산화 연구를 위하여 포항공대 정보통신연구소와 공동연구를 진행하였고 현재 새로운 구동방식, 분기방식 등을 적용시킨 SkyCar 시스템을 개발하였다. SkyCar에 대한 연구는 1992년에 시작되었으며 그 개념은 미

국의 Taxi 2000 시스템과 유사하지만 가이드 웨이의 설계와 분기기에서 중요한 차이를 가지고 있다. 포항공대(정보통신연구소)와 공동으로 차량(LIM 추진장치, 제동시스템의 설계 및 제작) 및 인프라 구조(전원공급 DC 600V의 40m 시험선 구축)에 관한 연구가 진행되어 현재 포항공대에 시험 차량 및 시험선로가 설치되어 있다.

국내의 기반기술을 바탕으로 한국형 표준 소형궤도열차시스템에 대한 기술개발이 2005년 7월부터 시작하여 총 5년 10개월의 연구기간으로 추진되는 ‘차세대첨단도시철도시스템기술개발사업’에서 개발될 예정이다. 이 사업의 주관 부처는 건설교통부이고 전문기관은 한국건설교통기술평가원이며 한국철도기술연구원을 주관 연구기관으로 하여 국내 기업, 대학, 연구소간의 공동연구 및 해외선진 연구기관, 기업 등과의 공동연구를 통하여 고효율, 저비용의 차세대 도시철도시스템 기술개발을 통한 국가기술 경쟁력 강화 및 도시철도 기술 선도를 목적으로 안전성 및 유지보수성이 획기적으로 향상된 차세대전동차 기술개발 및 미래 교통 분야 성장동력 창출을 위한 첨단 소형궤도열차시스템 기술개발을 사업목표로 하고 있다. 소형궤도열차시스템은 고속철도, 경량전철과 달리 아직 미개척 분야로 유럽, 미국 등 선진 각국에서도 소형궤도열차 도입을 진지하게 검토 중이나 아직은 그 개발이 진행 중이며 국내기술 개발 시 구미선진국들에 대하여 기술선점이 가능하기 때문에 기술개발사업을 통하여 소형궤도열차시스템의 설계·제작 기술을 국산화함으로써 수입대체효과는 물론이고 나아가 국내 기술로 Global Standard를 창출하여 세계 시장 진출기반을 확보하고 수출 경쟁력을 강화하게 되어 국가경쟁력에 기여할 수 있게 될 것이다. 기술개발사업은 시스템엔지니어링 기술개발, 차량시스템 기술개발, 급전시스템 및 인프라 구성품 기술개발, 네트워크은행제어시스템 기술개발로 구성되며 1차연도는 시스템 개념설계, 2차연도는 기본설계, 3차연도는 상세설계, 4차연도는 구성품 제작 및 단품시험, 5차연도는 pilot plant 건설 및 시스템 통합, 6차연도는 통합시험평가로 기술개발이 추진될 예정이다.

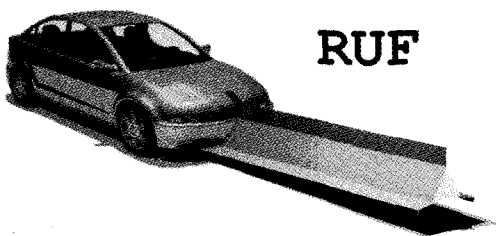


그림 7 RUF 시스템